

| | |
|-------------|---|
| Title | Modal filtering for active control of floor vibration under impact loading(Abstract_要旨) |
| Author(s) | Xue, Kai |
| Citation | Kyoto University (京都大学) |
| Issue Date | 2018-03-26 |
| URL | https://doi.org/10.14989/doctor.k21091 |
| Right | 許諾条件により本文は2019-03-25に公開 |
| Type | Thesis or Dissertation |
| Textversion | ETD |

| | | | |
|---|---|----|-----|
| 京都大学 | 博士（工学） | 氏名 | 薛 凱 |
| 論文題目 | Modal Filtering for Active Control of Floor Vibration under Impact Loading (衝撃荷重による床振動のアクティブ制御のためのモーダルフィルタリング) | | |
| <p>(論文内容の要旨)</p> <p>本論文は、建物の床構造の衝撃荷重による振動の低減対策を目的としたアクティブ振動制御システムの開発に関する研究を述べたものである。床面上に設置した複数の加速度センサから得られる床振動の計測データより、対象構造の個々の固有振動モード応答を分離して抽出する手法であるモーダルフィルタリング手法の適用に着目し、アクチュエータの発生制御力の位相遅れ補償法、最適センサ配置決定法、時空間フィルタ法を応用したモデルベース制御システムを構成し、実現性および性能の高いアクティブ振動制御システムを構築することを目標としている。</p> <p>第1章では、まず研究の背景として建物の床衝撃音に関わる現状とその低減手法を概観し、その中でのアクティブ制御に基づく方法の位置付けと未解決課題の課題を整理して述べている。次いで、固有振動モードに分解して振動制御システムを構成する手法の優位点に着目し、既往の研究において発展してきたモーダルフィルタリングの手法の意義について論じている。床構造に対する衝撃加振による振動の低減においてモーダルフィルタリングとモード毎直接速度フィードバック制御を基本に置いた上で、有効な制御手法を開発するために実施した本研究の論点を示し、その検討と開発の成果を論述する本論文の全体構成を述べている。</p> <p>第2章においては、床振動のアクティブ制御手法に関する過去の研究として直接出力フィードバック制御、モデルベース制御、モーダルフィルタリングの手法とそれらの適用上の課題を概観した上で、モデルベース制御システムの利点を述べている。</p> <p>第3章では、モデルベース制御システムの基本項目として、モーダルフィルタリングの原理、スピルオーバー、システム構成要素の動特性および時間遅れなどの事項を述べた上、それらの影響について基本的な性質と理論的な取り扱いについて述べている。</p> <p>第4章では、手法開発と検証実験に用いた実験システムの構成と、鋼板による床モデル、DSP システム、アクチュエータやフィルタなど個々の要素の詳細を説明した上で、衝撃加振実験で得られた応答による床モデルの周波数応答関数、アクチュエータの動特性および時間遅れ特性などの知見について述べている。</p> <p>第5章では、スピルオーバー効果の低減を目標とした最適センサ配置の決定法について述べている。最小スピルオーバー法、有効インピーダンス法、MAC 値による分離モード情報の最適化の3つの手法を組み合わせた手法を新たに提案し、前述の鋼板モデルを用いた実験システムでの実験で得られたデータに基づき、良好なモード分離性能が提案手法によるセンサ配置により得られる事を実験的に示している。</p> | | | |

| | | | |
|---|--------|----|-----|
| 京都大学 | 博士（工学） | 氏名 | 薛 凱 |
| <p>第6章では、振動制御アルゴリズムとして、モード座標空間での直接速度フィードバック手法と、位相進み補償器を組み合わせた PLVFB 制御法の基礎理論を提案している。安定余裕の解析および位相進み補償器の設計法に関する理論的な特性を分析し、設計例を用いて具体的な設定手順を示した。さらに、提案する PLVFB 制御を実験システムに実装した上で衝撃加振試験を行い、200Hz 以下の振動数範囲内では良好な制御性能を有することが示されるものの、それよりも高い固有振動数を持つ高次モードの挙動が不安定に近づくことが全体的な制御性能の制約条件となっていることを示した。</p> <p>第7章では、バンドパスフィルタを併用した PLVFB 制御と組み合わせて用いられる、アクチュエータ等の位相補償のための PI 型位相補償法を提案している。分離された固有振動モードへ床振動が分解されれば、各々はその固有振動数付近に集中したほぼ単一の振動数成分とみなされることから、PI 要素により特定の振動数での位相補償の機能を持たせることができる。これを、必要な固有モード数ごとに用意して並列に作動するようにすれば、簡易でありながら十分な機能を持つ位相補償器を構成することができる。さらに、その PI 補償器のパラメータ調整を手動自動化するためのアルゴリズムを提案し、煩雑なパラメータ調整が不要な制御器を構成することができる。実験システムにこの機能を含めた PLVFB 制御を実装して行った実験結果により、大幅に改善された制御器が構成できることを示している。</p> <p>第8章では、時空間フィルタの適用による性能の向上と実験的検証の結果をまとめている。時空間フィルタは、前述のモーダルフィルタリングに時間方向の複数のステップの計測値を加えることでさらにモードの分離性能の向上を図る手法である。その際の参照モデル応答の計算には、地震工学の分野で用いられてきた Nigam-Jennings 法を採用している。この手法の採用にあたって、時間方向の使用ステップ数の影響を検討するとともに、センサ数やセンサ配置の相違による影響が緩和されることを示している。さらに、これまでに論じてきた PLVFB 制御と時空間フィルタを組み合わせた制御により、スピルオーバーに影響されにくい有効な制御器を構成できることを、実験結果に基づいて示している。</p> <p>第9章では、本研究において得られた結論および得られた知見を要約するとともに、今後の課題について述べている。</p> | | | |

| | | |
|--------------|-----|-----|
| | 氏 名 | 薛 凱 |
| (論文審査の結果の要旨) | | |

本論文は、建物の床構造の衝撃荷重による振動の低減対策を目的としたアクティブ振動制御システムの開発に関する研究を述べたものである。床面上に設置した複数の加速度センサから得られる床振動の計測データより、対象構造の個々の固有振動モード応答を分離して抽出する手法であるモーダルフィルタリング手法の適用に着目し、アクチュエータの発生制御力の位相遅れ補償法、最適センサ配置決定法、時空間フィルタ法を応用したモデルベース制御システムを構成し、実現性および性能の高いアクティブ振動制御システムを構築しており、一連の研究により得られた主な成果は次のとおりである。

1. スピルオーバー効果の低減のための最適センサ配置を、最小スピルオーバー法、有効インピーダンス法、MAC 値による分離モード情報の最適化の 3 つの手法を組み合わせることで決定する手法を新たに提案している。床振動のアクティブ制御システムの実用化にあたっては、センサ数が限定された状況でも有効な制御性能を発揮する必要性が高く、現実的な制御システムの実現につながるものが期待できる成果である。
2. 振動制御アルゴリズムとして、モード座標空間での直接速度フィードバック手法と、位相進み補償器を組み合わせた PLVFB 制御法を新たに提案し実験的に有効性を示している。これは、比較的簡素でありながら、床振動のアクティブ制御の状況に適合した制御方式であり、今後の振動アクティブ制御の展開に貢献する提案であると考えられる。
3. アクチュエータ等の位相補償のための PI 型位相補償法に関して、そのパラメータ調整を自動化するためのアルゴリズムを提案している。煩雑な手動による多数回の試行錯誤によるパラメータ調整を行う必要がなく、振動制御の適用に先立ち制御器による自律的な調整のメカニズムを組み込もうとする技術であり、その有用性は極めて高い。
4. PLVFB 制御と時空間フィルタを組み合わせた制御を新たに提案している。スピルオーバーに影響されにくい有効な制御器を構成できることが実験的に示されており、衝撃加振を受ける床構造の振動および衝撃音の軽減の技術の確立に大きく貢献する成果であると考えられる。

本論文は、住環境の快適性の向上に直結する、建物における床衝撃音や床振動の問題への対策技術を提供するとともに、さらに振動制御技術の理論および実装技術にも重要な貢献を行ったものであり、学術上、實際上寄与するところが少なくない。よって、本論文は博士（工学）の学位論文として価値あるものと認める。また、平成 30 年 2 月 20 日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行い、申請者が博士後期課程学位取得基準を満たしていることを確認し、合格と認めた。